Formosan Entomologist
Journal Homepage: entsocjournal.yabee.com.tw

【Research report】

溫度對亮腹釉小蜂之族群增長、致死柑橘木蝨能力及貯存之影響【研究報告】

錢景秦、朱耀沂、古琇芷

*通訊作者E-mail :

Received: Accepted: 1993/04/09 Available online: 1993/06/01

Abstract

摘要

亮腹釉小蜂 (Tamarixia radiata (Waterston))之發育適溫帶為15℃~32℃，最適溫度為25℃。卵至成蟲期之發育臨界低溫為11.0℃，卵、幼蟲、前蛹、蛹及卵至成蟲期之發育有效積溫各為30、65、10、72及165日度。該蜂對田間之變溫適應力羽，由卵發育至成蟲期之存活率，於7月至8月間降低至46%，於12月至翌年1月間為23%。在25°與30℃ 、當每日供應柑橘木蝨(Diaphorina citri Kuwayama)第五齡若蟲20隻時，一隻雌性亮腹釉小蜂終生實際致死柑橘木蝨數各為245與196，隻內在增殖率(r) 各為0.3077與0.3655/天，淨增殖率真(Ro) 各為140與90粒雌性卵 / 雌蜂，平均世代時間 (T) 各為16.05與12.29天。以,低溫貯存時僅成蜂較適冷藏，雌蜂在8°與15℃下壽命為45.5~59.9天，顯著較在25℃ (22.5天) 與30℃ (9.6天) 時之壽命長。

Key words:

關鍵詞: 亮腹釉小蜂、族群介量、溫度、貯存、柑橘木蝨。

Full Text: PDF(0.73 MB)

下載其它卷期全文 Browse all articles in archive: http://entsocjournal.yabee.com.tw

中華昆蟲 13: 111-123(1993)
Chinese J. Entomol. 13: 111-123(1993)

温度對亮腹釉小蜂之族群增長、致死柑橘木蝨能力及貯存之影響

錢景秦　臺灣省農業試驗所應用動物系　臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路 189 號
朱耀沂　國立臺灣大學植物病蟲害學系　臺北市羅斯福路四段 1 號
古琇芷　臺灣省農業試驗所應用動物系　臺中縣霧峰鄉萬豐村中正路 189 號

摘　　要

亮腹釉小蜂(*Tamarixia radiata* (Waterston))之發育適溫帶為 15°～32℃，最適溫度為 25℃。卵至成蟲期之發育臨界低溫為 11.0℃，卵、幼蟲、前蛹、蛹及卵至成蟲期之發育有效積溫各為 30、65、10、72 及 165 日度。該蜂對田間之變溫適應力弱，由卵發育至成蟲期之存活率，於 7 月至 8 月間降低至 46%，於 12 月至翌年 1 月間為 23%。在 25° 與 30℃、當每日供應柑橘木蝨(*Diaphorina citri* Kuwayama) 第五齡若蟲 20 隻時，一隻雌性亮腹釉小蜂終生實際致死柑橘木蝨數各為 245 與 196 隻，內在增殖率(r)各為 0.3077 與 0.3655 / 天，淨增殖率(R_o)各為 140 與 90 粒雌性卵 / 雌蜂，平均世代時間(T)各為 16.05 與 12.29 天。以低溫貯存時僅成蜂較適冷藏，雌蜂在 8° 與 15℃下壽命為 45.5～59.5 天，顯著較在 25℃ (22.5 天)與 30℃ (9.6 天)時之壽命長。

關鍵詞：亮腹釉小蜂、族群介量、溫度、貯存、柑橘木蝨。

Influence of Temperature on the Population Increase, Host-killing Capability and Storage of *Tamarixia radiata*

Ching-Chin Chien Department of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute, 189 Chungcheng Road, Wufeng, Taichung, Taiwan, R.O.C.
Yau-I Chu Department of Plant Pathology and Entomology, National Taiwan University, 1 Roosevelt Road, Sec. IV., Taipei, Taiwan,

R.O.C.
Shiu-Chih Ku Department of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute, 189 Chungcheng Road, Wufeng, Taichung, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

Tamarixia radiata (Waterston) completed their development at 15°～32℃ with the optimum temperature 25℃. The lower developmental threshold was estimated to be 11℃ for development from egg to adult. Degree-days required by *T. radiata* to complete the egg, larval, prepupal, pupal, and egg-to-adult stages were 30, 65, 10, 72, and 165, respectively. The ability to adapt to the fluctuating air temperature in the field was poor, and the survival rate from egg to adult decreased to 46% during July to August and to 23% during December to January. When 20 5th-instar nymphs of *Diaphorina citri* Kuwayama were provided daily for a pair of *T. radiata* at 25° and 30℃, the actual host-killing capability, the intrinsic rate of increase (r), net reproductive rate (R_0), and mean generation time (T) were 245 and 196 psyllids / female, 0.3077 and 0.3655 / day, 140 and 90 female eggs / female, and 16.05 and 12.29 days, respectively. Only the adults were suitable for cold storage. Temperatures 8° and 15℃ significantly prolonged the longevity of the females (45.5～59.5 days) relative to 25℃ (22.5 days) and 30℃ (9.6 days).

Key words: *Tamarixia radiata*, population parameter, temperature, storage, *Diaphorina citri*.

前　　言

亮腹釉小蜂(*Tamarixia radiata* (Waterston)，以下簡稱釉小蜂)，爲柑橘木蝨(*Diaphorina citri* Kuwayama，以下簡稱木蝨)之重要天敵。留尼旺島(Aubert and Quilici, 1984)、中國大陸(Tang, 1989、1990; Tang and Aubert, 1990; Tang and Huang, 1991; Tang and Wu, 1991)、尼泊爾(Lama *et al.*, 1988)、臺灣(錢景秦，1992；錢景秦等，1988；錢景秦等，1991a、b; Chien *et al.*, 1989; Chu and Chien, 1991)、菲律賓(Gavarra and Mercado, 1989; Gavarra *et al.*, 1990; Mercado *et al.*, 1991)、泰國(Aubert, 1989)、馬來西亞(Mohd. Shamsudin and Quilici, 1991)及印尼(Nurhadi, 1989)等地均曾試行利用該蜂進行木蝨之生物防治，希冀抑制柑橘立枯病(或稱黃龍病、維綠病、葉萎黃、柑橘葉脈韌皮部退化病等)之流行。溫度是生物活動、發育及繁殖之重要

物理因子，文獻上釉小蜂與溫度之相關資料甚少，僅 Aubert (1990)、Etienne and Aubert (1980)、Quilici and Fauvergue (1990)及 Tang and Huang (1991)等初步探討溫度對釉小蜂之發育與壽命之關係。今爲深入瞭解溫度對釉小蜂之發育、壽命、齡別生命表、致死木蝨能力及貯存等之影響，乃進行本試驗，希冀藉以提供該蜂大量繁殖與貯存技術之改進及田間應用之參考。

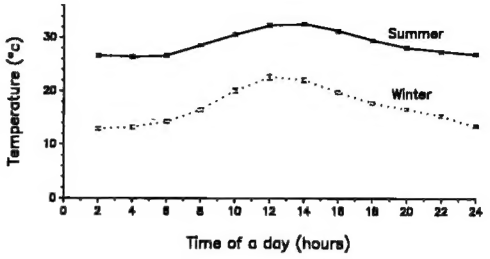
材料與方法

本試驗所用之寄主植物(廣東檸檬(*Citrus limonia* Osbeck)、月橘(*Murraya paniculata* Linnaeus))、供試蟲源(木蝨、釉小蜂)、接蜂方法及被寄生木蝨之飼育方法等如錢景秦等(1991b)所述。

一、溫度對釉小蜂發育之影響

室內定溫：在 25℃定溫下，將第五齡木蝨若蟲接在一根長約17 cm 月橘嫩枝條後，放入接蜂用玻管(直徑 3.5 cm、高 20 cm)，供釉小蜂產卵 2 小時。隨即移出並鏡檢木蝨，然後將被產卵之木蝨用細毛筆挑至盆栽廣東檸檬(50 隻／株)，或月橘枝條上(10 隻／枝)，分別放入 10°、15°、20°、25°、30°、32° 及 35℃等七種不同溫度之定溫箱。每日觀察溫度對釉小蜂各蟲期之存活率與發育日數之影響。另在近各蟲期或齡期變化之際，每小時記錄該蜂之發育情形。存活率試驗各做 3 盆，發育期試驗各觀察 7～87 隻不等。並依 Campbell *et al.* (1974)之方法，估算釉小蜂之發育臨界低溫與發育有效積溫。

室外變溫：如前項試驗，將帶有同齡(2 小時內)蜂卵之第五齡木蝨若蟲 40 隻挑至盆栽廣東檸檬上，分別在 1990 年 12 月 24日至 1991 年 1 月 29 日，與 1991 年 7 月 23 日至 8 月 11 日移至室外有遮頂(0.75 m)之窗台。觀察釉小蜂在冬季與夏季自然變溫下各蟲期之存活率與發育日數，各做 3 重複。試驗期間以自計溫濕度器記錄溫度之變化(圖一)。



圖一 1990年12月24日至1991年1月29日與1991年7月23日至8月11日臺中萬豐地區一日內每2小時之平均氣溫。

Fig. 1. Average air temperature for each two hours in a day during December 24, 1990 to January 29, 1991 and July 23 to August 11, 1991 at Wanfeng, Taichung.

二、溫度對釉小蜂壽命之影響

將在 25℃下初羽化之 10 對釉小蜂引入指形管(直徑 1.5 cm、高 7 cm)內，於無寄主供應下，以細毛筆塗畫於玻管內壁之方式餵食未稀釋之蜂蜜，並分別放入 8°、15°、20°、25° 及 30℃等不同溫度之定溫箱，每日觀察溫度對釉小蜂壽命之影響。至於餵食蜂蜜之間隔時間則視釉小蜂在不同溫度下之活動而定，如 8℃時釉小蜂呈冷昏迷狀(cold paralysis)，因此分成每隔 1 天或 6 天將成蜂移入 25℃定溫箱餵食蜂蜜 1 小時之二種處理。而 15°～30℃之四種處理，因釉小蜂活動量較 8℃處理者大，吸食蜂蜜量亦多，故將成蜂每天移入 25℃定溫箱餵食蜂蜜 1 小時。各處理經餵食蜂蜜後，均仍放回原處理溫度之定溫箱內，各做 4 重複。

三、溫度對釉小蜂齡別生命表之影響

在 15°、20°、25° 及 30℃等四種不同定溫下，將帶有釉小蜂同齡(24 小時內)蜂卵之第

五齡木蝨若蟲 10 隻挑至月橘枝條上，記錄各處理釉小蜂生長期之存活率與發育日數，各做 5 至 10 重複。待釉小蜂初羽化後各取 1 對引入接蜂用玻管，仍各放置於原處理之四種定溫下，每日供應帶有 20 隻第五齡木蝨若蟲之月橘枝條，直至雌蜂死亡爲止。記錄各處理釉小蜂之壽命、產卵數，取食木蝨數。另在 25℃ 下飼育各處理釉小蜂所有子代至羽化爲止，並以子代之雌性比估算母代之產雌卵數，各做 5 重複。然後依 Birch (1948)之方法，估算釉小蜂在各不同定溫下之族群介量，如內在增殖率(intrinsic rate of increase, r)、終極增殖率(finite rate of increase, λ)、淨增殖率(net reproductive rate, R_o)及平均世代時間(mean generation time, T)等。

四、溫度對釉小蜂致死木蝨能力之影響

以前項溫度對釉小蜂齡別生命表試驗之同組數據估算釉小蜂在各不同定溫時，對寄主之致死潛能“寄生蜂之產卵數＋取食木蝨數”、實際致死木蝨數“致死木蝨潛能－過寄生卵數－木蝨被產卵又被取食數”、過寄生率及木蝨被產卵又被取食率等。

五、低温對釉小蜂未成熟期貯存之影響

將帶有釉小蜂老熟幼蟲或前蛹之木蝨乾屍各 10 個，分別裝入指形管(直徑 1.5 cm、高 7 cm)內，在 8°、10° 及 12℃等三種不同定溫下，各貯存 7 與 14 天後，移至 25℃定溫下記錄各處理釉小蜂之羽化率，各做 4 重複。

結　　果

一、溫度對釉小蜂發育之影響

室內定溫：由表一得知，在 10°～35℃定溫下，釉小蜂由卵發育至成蟲期之存活率雖不受寄主植物(廣東檸檬與月橘)之影響，但各溫度處理間呈顯著差異。該蜂之發育適溫帶爲 15° 至 32℃，其中又以 25℃爲最適溫度，至於 10°與 35℃則不適釉小蜂之發育。例如卵在 10℃時不孵化，而在 25℃下已發育爲第一齡幼蟲或蛹期者，當將其各移至 10℃時，前者雖有 9% 與 2% 可繼續發育爲第二齡與第三齡幼蟲，但至 14 天後幼蟲仍全部死亡，而後者之羽化率亦爲 0%。在 35℃時釉小蜂卵雖有 52% 之孵化率，但幼蟲期存活率僅 18%，且羽化率爲 0%。表二則顯示釉小蜂在

表一　不同定溫下亮腹釉小蜂各蟲期之存活率

Table 1. Rate of survival of various growth stages of *Tamarixia radiata* at various constant temperatures

Temp. (℃)	% Survival ($\bar{x}$±SEM)[1]							
	Egg		Larva		Pupa		Egg-adult	
	CL[2]	JO[3]	CL[2]	JO[3]	CL[2]	JO[3]	CL[2]	JO[3]
10	0 d	0 d	—	—	—	—	0 e	0 e
15	89±1 ab	82± 4 b	94±1 b	91± 4 ab	54±2 c	62±6 c	44±2 d	46±5 c
20	88±1 ab	84± 2 b	96±2 ab	95± 3 a	94±2 ab	93±3 a	80±2 b	74±2 ab
25	94±2 a	94± 2 a	99±1 a	99± 1 a	97±2 a	94±2 a	90±3 a	88±3 a
30	82±5 b	82± 4 b	82±5 c	86± 2 b	89±3 b	83±5 ab	59±2 c	58±4 bc
32	77±8 b	74± 4 bc	75±3 c	73± 7 c	63±6 c	68±6 bc	38±5 d	20±6 d
35	52±1 c	65±10 c	18±6 d	32±16 d	0 d	0 d	0 e	0 e

1) Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD. Data were transformed to arcsin x prior to ANOVA. No significance was found between cantonese lemon (CL) and jasmine orange (JO) for each growth stage.
2) CL: cantonese lemon with parasitized *Diaphorina citri* nymphs at the rate of 50 / plant, 3 replications.
3) JO: jasmine orange with parasitized *Diaphorina citri* nymphs at the rate of 10 / twig, 5 replications.

表二　不同定溫下亮腹釉小蜂各蟲期之發育日數[1)]

Table 2. Duration in days of various growth stages of *Tamarixia radiata* at various constant temperatures[1)]

Temp.	Egg		Larva		Prepupa		Pupa		Egg-adult	
(℃)	n	x̄±SEM	n	x̄±SEM	n	x̄±SEM	n	x̄±SEM	n	x̄±SEM
15	26	3.9±0.1 a	19	15.9±0.6 a	12	2.5±0.7 a	29	14.3±0.9 a	21	36.6±0.6 a
20	64	3.2±0.1 b	30	8.0±0.1 b	32	1.1±0.1 b	37	8.0±1.0 b	38	20.3±1.0 b
25	44	2.0±0.1 c	36	4.2±0.4 c	36	0.6±0.0 c	20	4.8±0.4 c	15	11.6±0.4 c
30	42	1.3±0.0 d	37	3.2±0.3 d	37	0.5±0.0 c	37	3.7±0.4 d	53	8.7±0.5 d
32	34	1.2±0.0 e	15	2.9±0.0 de	6	0.4±0.0 c	12	3.3±0.1 e	34	7.8±0.1 e
35	87	1.2±0.0 e	8	2.9±0.0 e	7	0.5±0.0 c	7	died	87	died

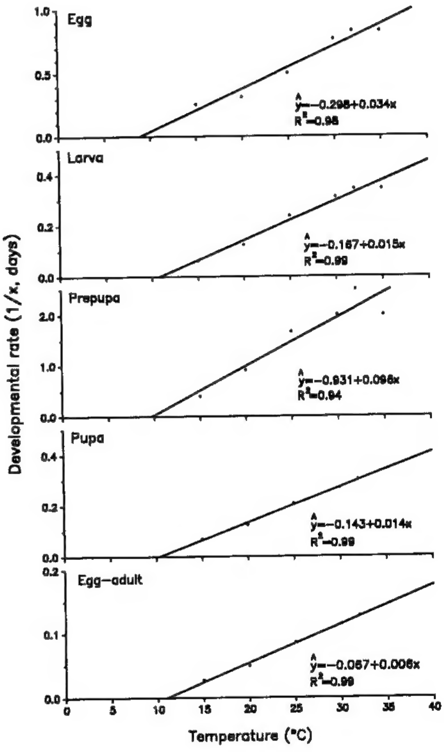
1) Means in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD.

其發育適溫帶(15°～32℃)時，卵至成蟲期之發育日數隨溫度之升高而縮短。釉小蜂各生長期之發育速率與其發育適溫範圍內之溫度呈直線迴歸(圖二)，卵、幼蟲、前蛹、蛹及卵至成蟲等各期之發育臨界低溫各爲 8.8°, 10.8°, 9.7°, 10.3° 及 11℃；發育有效積溫各爲 30、65、10、72 及 165 日度(表三)。

室外變溫：在臺中萬豐地區，自 1990 年 12 月 24 日至 1991 年 1 月 29 日間，室外日平均溫度爲 17.1℃(最高 25.4℃，最低 9℃)時，釉小蜂由卵至成蟲期之發育期爲 22.3 天，自卵發育至成蟲期之存活率爲 23%(表四)。1991 年 7 月 23 日至 8 月 11 日間，室外日平均溫度爲 29℃(最高 34.5℃、最低 24℃)時，釉小蜂由卵至成蟲期之發育期爲 9.2 天，自卵發育至成蟲期之存活率爲 46%(表四)。

二、溫度對釉小蜂壽命之影響

釉小蜂雌、雄蜂在 8°～30℃、無寄主供應而僅以蜂蜜餵食時，壽命與溫度間均呈負相關，各處理間差異顯著。其中壽命最長者爲每隔 1 天移至 25℃ 餵食蜂蜜之 8℃ 處理，雌、雄蜂壽命各爲 59.5 與 57.6 天；壽命最短者爲每天移至 25℃ 餵食蜂蜜之 30℃ 處理，雌、雄蜂壽命分別僅 9.6 與 9.3 天(圖三)。另在 8℃ 每隔 6 天移至 25℃ 餵食蜂蜜時，雌、雄蜂壽命各爲 46.0±5.7 與 36.5±3.3 天，與每隔 1 天餵食蜂蜜之處理間，雌蜂壽命無顯著差異(t=1.6981, df=6)，雄蜂壽命卻呈顯



圖二　不同定溫下亮腹釉小蜂各蟲期之發育速率與溫度之關係。

Fig. 2. Relationship between temperature and developmental rates of various growth stages of *Tamarixia radiata*.

表三　亮腹釉小蜂各蟲期之發育臨界低溫與發育有效積溫[1)]

Table 3. The lower developmental thresholds (℃) and degree-day requirements (℃-days) for various growth stages of *Tamarixia radiata*[1)]

Stage	Lower developmental threshold ($\bar{x}\pm$SEM)	Degree-days ($\bar{x}\pm$SEM)
Egg	8.8±0.8	30±3
Larva	10.8±0.6	65±6
Prepupa	9.7±1.3	10±2
Pupa	10.3±0.2	72±3
Egg to adult	11.0±0.3	165±7

1) Lower developmental thresholds and degree-days were estimated according to the method of Campbell *et al.* (1974).

表四　在臺中萬豐地區亮腹釉小蜂各蟲期之發育期與存活率[1)]

Table 4. Duration and rate of survival of various growth stages of *Tamarixia radiata* at Wanfeng, Taichung[1)]

Stage	Winter[2)]		Summer[3)]	
	Duration (days) ($\bar{x}\pm$SEM)	% Survival ($\bar{x}\pm$SEM)	Duration (days) ($\bar{x}\pm$SEM)	% Survival ($\bar{x}\pm$SEM)
Egg	3.03±0.01	78± 6	1.92±0.01	85±3
Larva	8.73±0.06	66±11	3.26±0.01	77±3
Pupa	11.13±0.18	46± 6	3.98±0.01	70±1
Egg to adult	22.30±0.45	23± 5	9.16±0.02	46±2

1) Forty 5th-instar nymphs of *Diaphorina citri* were used for each experiment with 3 replications.
2) Experiment conducted during Dec. 24, 1990 to Jan. 29, 1991.
3) Experiment conducted during Jul. 23, to Aug. 11, 1991.

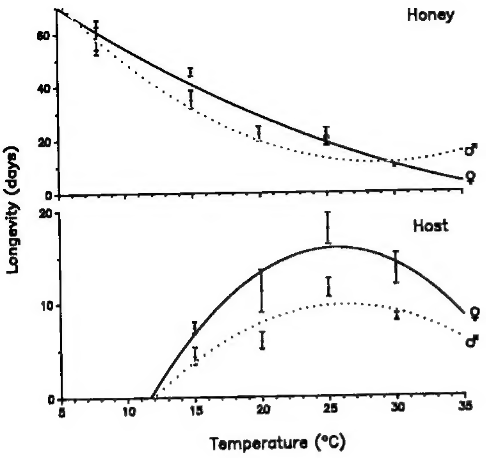
著差異(t=3.4556, df=6)。釉小蜂雌蜂與雄蜂在15°～30℃、每日供應寄主20隻時，壽命與溫度間均呈圓頂形曲線反應，處理間之差異顯著，其中壽命最長者爲25℃之處理，雌、雄蜂壽命各爲22.5與18.8天(圖三)。

三、溫度對釉小蜂齡別生命表之影響

由表五得知，釉小蜂之產卵活動在25°與30℃時遠較15°與20℃時大，處理間差異顯著；子代雌性比在20°、25°及30℃時較高，處理間無顯著差異，但後二者與15℃處理間呈顯著差異。綜合考量溫度對釉小蜂發育與生殖力之影響時，得知在15°、20°、25°及30℃下，釉小蜂之族群增長隨溫度之上升而增加，如其每日內在增殖率各爲0.0011、0.0081、0.3077及0.3655(表六)，顯示30℃爲釉小蜂族群增長最快之溫度。但25℃時釉小蜂之淨增殖值(net maternity value)較30℃者大(圖四)。

四、溫度對釉小蜂致死木蝨能力之影響

由表七得知，在15°、20°、25°及30℃定溫、每日供應第五齡木蝨若蟲20隻時，釉小蜂每雌對木蝨之終生致死潛能各爲16、25、276及275隻，實際致死數各爲16、25、245及196隻，顯示釉小蜂對木蝨之致死能力以25°與30℃時較高，二處理間無顯著差異，但與15°或20℃處理間，呈顯著差異。至於釉



圖三　供應蜂蜜或寄主時亮腹釉小蜂之壽命與溫度之關係。

Fig. 3. Relationship between temperature and longevity of *Tamarixia radiata* provided with honey or *Diaphorina citri*. Honey: adults maintained at 8℃ were temporarily removed to 25℃ and fed with honey for 1 hour every other day. Adults maintained at 15°~30℃ were fed with honey the same way every day. ♀ $\hat{y}=87.646-3.663x+0.036x^2$, $R^2=0.95$; ♂ $\hat{y}=100.7-6.196x+0.107x^2$, $R^2=0.93$. Host: see footnote 2) of table 5. ♀ $\hat{y}=-38.235+4.241x-0.083x^2$, $R^2=0.84$; ♂ $\hat{y}=-23.120+2.512x-0.048x^2$, $R^2=0.72$.

小蜂在同一隻木蝨上之過寄生率及產卵與取食同時發生率，二者在 15° 與20℃ 時均爲 0%，但在 25° 與 30℃時，隨溫度之上升而增加，處理間差異顯著(表七)。

五、低溫對釉小蜂貯存之影響

由表八得知，釉小蜂老熟幼蟲或前蛹均不耐冷藏，在 8°、10° 及 12℃ 下冷藏 7 天後，釉小蜂之羽化率各爲 13、15 及 33~34%；在 8~12℃ 下冷藏 14 天後，該蜂之羽化率僅 0~20%。

討論與結論

一、溫度對釉小蜂發生量與分布之影響

環境溫度是影響生物生活之重要生態因子，在不同地理位置或在同一地區依季節溫度均有差異，因此溫度之變化，可影響生物之活動、生殖、生長及發育等。而寄生蜂之發生量與分布除受環境溫度之直接影響外，尙受寄主昆蟲及其寄主植物之發生量與分布之限制。Campbell *et al.* (1974)曾就蚜蟲與其寄生蜂二者之發育臨界低溫加以比較，認

表五　不同定溫下亮腹釉小蜂之繁殖力與取食寄主數[1,2)]

Table 5. Reproduction and host-feeding capability of *Tamarixia radiata* at various constant temperatures[1,2)]

Temp (℃)	A: Fecundity (no. eggs laid / ♀)	B: No. hosts killed by feeding / ♀	A / B	Progeny sex ratio (♀ / ♀+♂)
15	7± 1 b	9±2 c	1.0±0.2 b	0.50±0.03 b
20	16± 3 b	8±2 c	2.2±0.6 b	0.63±0.10 ab
25	215±20 a	60±5 a	3.6±0.3 b	0.77±0.01 a
30	233±20 a	43±9 b	5.2±0.7 a	0.74±0.04 a

1) Means ($\bar{x}$±SEM) in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD. Percentage of sex ratio data were transformed to arcsin x prior to ANOVA.

2) One pair of adults was provided with 20 5th-instar nymphs of *Diaphorina citri* daily and reared at a given temperature, photoperiod of 14 : 10 (L : D), and 100% RH; 5 replicates.

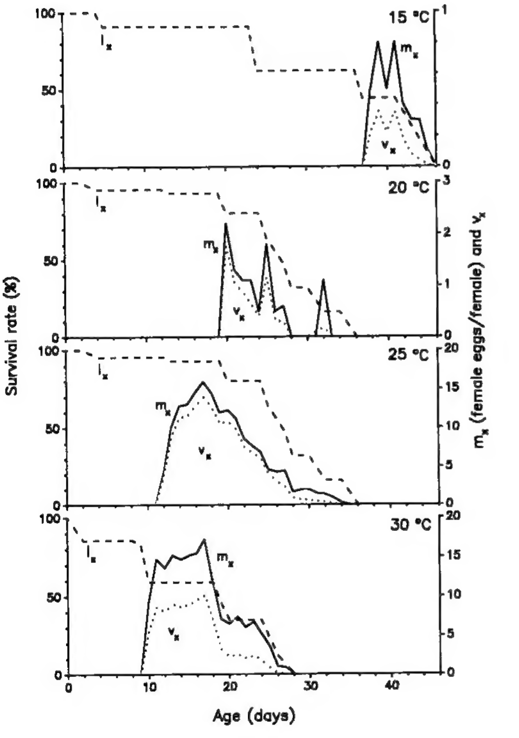
表六　不同定溫下亮腹釉小蜂之族群介量[1)]

Table 6. Population parameters for *Tamarixia radiata* at various constant temperatures [1)]

Temp. (℃)	Parameters[2)]			
	r	λ	R_o	T
15	0.0011	1.0111	2	39.94
20	0.0081	1.0847	6	22.78
25	0.3077	1.3603	140	16.05
30	0.3655	1.4413	90	12.29

1) See footnote 2) of Table 5.

2) r: intrinsic rate of increase (day^{-1}); λ: finite rate of increase (day^{-1}); R_o: net reproduction rate (female eggs / ♀); T: mean generation time (days).



圖四　不同定溫下亮腹釉小蜂之齡別存活率(l_x)、繁殖率(m_x)及淨增殖值($v_x=l_xm_x$)。

Fig. 4. Age-specific survival rate (l_x)、fecundity rate (m_x) and distribution of net maternity value ($v_x=l_xm_x$) of *Tamarixia radiata* at various constant temperatures.

爲寄生蜂爲適應生存，其發育臨界低溫較寄主者高，但這種現象亦影響寄生蜂與寄主之同律性。另某些蚜蟲與其寄生蜂之發育臨界低溫則相近似(Kiritani, 1991)。Aubert (1990)報導木蝨對溫度之適應範圍較廣，可適應從熱帶乾燥氣候之 45℃至亞熱帶潮濕氣候之-7℃，同時在各地亦發現其生物小種(biotype)。例如在留尼旺島與馬來西亞二地，海拔高度各在 700～800 m(最低溫 7℃)與 1,200 m(最低溫 14℃)以下處，皆有木蝨之發生；而在屬於亞熱帶地區之中國大陸浙江與福建二省，木蝨尚可以成蟲期越冬並短期忍受-7℃之低溫(Aubert, 1990)。至於釉小蜂，Aubert (1990)認爲其對溫度之依變關係較木蝨強，因而該蜂在福州地區(最低溫-2.5℃)之繁殖活動較廈門地區(最低溫 3.9℃)弱。據 Ke (1991)報導在福州地區，釉小蜂因受木蝨成蟲越冬之影響，在春末至初夏時，該蜂族群密度仍低，直至 7 月時，其密度才漸增，並對木蝨產生一定程度之抑制。由本室內試驗結果得知，現立足於臺灣地區之釉小蜂，卵至成蟲期之發育臨界低溫爲 11℃，發育有效積溫爲 165 日度(表三)。其發育適溫帶雖爲 15°～32℃(表一、二、五)，但每日之內在增殖率在 25° 與 30℃(各爲 0.3077 與 0.3655)時遠較在 15° 與 20℃(各爲 0.0011 與 0.0081)時高(表六)。同時釉小蜂之日產卵、

表七 不同定溫下亮腹釉小蜂對柑橘木蝨之致死力[1,2]

Table 7. Mortality of *Diaphorina citri* caused by *Tamarixia radiata* at various constant temperatures[1,2]

Temp. (℃)	Host-killing potential / ♀	Actual host-killing capability / ♀	% Super-parasitism	% Prey parasitized and fed
15	16± 3 b	16± 3 b	0 c	0 c
20	25± 4 b	25± 4 b	0 c	0 c
25	276±24 a	245±23 a	10±1 b	3.8±0.8 b
30	275±27 a	196±24 a	27±4 a	7.9±1.5 a

1) Means ($\bar{x}$±SEM) in each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD. Data of percent superparasitism and prey parasitized and fed were transformed to arcsin x prior to ANOVA.

2) See footnote 2) of Table 5.

表八 經不同溫度貯存7與14天後亮腹釉小蜂在25°C下之羽化率[1,2]

Table 8. Percent emergence of *Tamarixia radiata* at 25°C after storing at various temperatures for 7 and 14 days[1,2]

Duration (days)	Temp. (°C)		
	8	10	12
		Mature larva	
7	13±8 b	15±3 ab	34±9 a
14	0 b	10±4 a	13±3 a
		Prepupa	
7	13±3 b	15±7 b	33±3 a
14	0 b	5±3 b	20±6 a

1) Means ($\bar{x}$±SEM) in same row followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD. Data were transformed to arcsin x prior to ANOVA.

2) Ten mature larvae or prepupae per treatment, 4 replicates.

取食寄主活動盛期在上午 9 時至下午 1 時之間(錢景秦等，1991b; Chu and Chien, 1991)。此或與該蜂係先經由熱帶地區之印度引進留尼旺島(Aubert and Quilici, 1984)，其後再由留尼旺島引進臺灣(錢景秦等，1988; Chien *et al*., 1989) 之淵源有關。至於臺灣地區木蝨之發育臨界低溫雖未經測定，但由臺中地區田間調查得知，2 至 3 月早春時釉小蜂對木蝨之頗高寄生率(80～99.7%)，顯示二者間具同律性(錢景秦等，1991a)。

二、定溫或變溫對釉小蜂發育溫度範圍之影響

昆蟲之發育適溫帶多由室內定溫條件下測定。但在室外之自然變溫情況下，昆蟲之死亡率或發育適溫範圍常與定溫時不同，在低溫時，變溫常降低昆蟲之發育溫度；在高溫時，若變溫範圍超越昆蟲代謝反應之極限溫度，則常導致昆蟲死亡，而此時之死亡率與致死臨界高溫之接觸時間有關(Ratte, 1984)。Quilici and Fauergue (1990)曾推測釉小蜂自卵至成蟲期之發育臨界高溫約為30℃。由本試驗之結果得知，釉小蜂自卵至成蟲期之存活率，在室內 32℃定溫時為38%，在35℃定溫下即不能完成發育(表一)。在臺中萬豐，室外夏季日平均溫度為

29℃(24°～34.5℃)(圖一)時，釉小蜂雖每日僅接觸 30～32℃或 32℃溫度各 6 或 2 小時，此時自卵至成蟲期之存活率即明顯降低至 46％(表四)，與 30℃定溫處理時之存活率 59％(表一)呈極顯著之差異($t=5.5877$, $df=4$, $P<0.01$)。至於室外冬季日平均溫度雖為 17.1℃ (9°～25.4℃)，但一日內平均約有 6 小時在 13°～14℃(圖一)，此時釉小蜂自卵發育至成蟲期之存活率僅為 23％(表四)，較 15℃定溫時之存活率(44％)(表一)低且差異顯著($t=3.5848$, $df=4$, $P<0.05$)。此等結果顯示，在臺中萬豐地區，釉小蜂對田間高溫或低溫範圍內之變溫適應力弱，短暫在發育適溫範圍外時，即影響其存活率。

三、釉小蜂大量繁殖時之最適溫度

生物之死亡率與出生率可決定族群內數量之變化，而族群之增長速率一般常以內在增殖率(r)表示。影響 r 值之因子即有發育期、存活率、產卵數、雌性比及初次產卵日齡等，其中初次產卵日齡之影響最大(Birch, 1948)。由本試驗之結果得知，當每日供應第五齡木蝨若蟲 20 隻時，釉小蜂無明顯之產卵前期；且在 25° 與 30℃定溫下，該蜂之壽命(圖三)、產卵數及子代雌性比(表五)均無顯著差異，但自卵至成蟲期之存活率(表一)、發育期(表二)、過寄生率及產卵與取食之同時發生率(表七)，二處理間卻呈顯著差異。顯示釉小蜂在 30℃時，雖然過寄生率及產卵與取食之同時發生率高、自卵至成蟲期存活率低，然由於完成一代之發育期較短，以致較 25℃時提高 r 值(表六)，使 30℃為釉小蜂繁殖最快之溫度。然族群繁殖最速與最適溫度間仍有差異。如不考慮釉小蜂之發育時間，僅就其淨增殖值(v)，即淨增殖率(R_o)與存活率而言，25℃為釉小蜂之繁殖最適溫度。因而在釉小蜂大量繁殖上，如第五齡木蝨若蟲並不充裕時，釉小蜂應在 25℃之定溫下繁殖較適；但若急需釋放釉小蜂於田間時，則以 30℃之定溫為繁殖之最佳條件。

四、釉小蜂致死木蝨之適宜溫度

在室內定溫下每日供應第五齡木蝨若蟲 20 隻時，釉小蜂之終生實際致死木蝨數以 25° 與 30℃時較高，分別為 245 與 196 隻；然 15° 與 20℃時僅分別致死 16 與 25 隻。據霧峰地區 1988 至 1989 年間在月橘上之調查結果，發現 2 至 3 月間該蜂對木蝨之寄生率高達 80～99.7％，而此時之月平均溫度僅為 17°～21℃(錢景秦等，1991a)。即該結果似與室內試驗所得之適宜釉小蜂寄生產卵之溫度為 25°～30℃不符。究其原因，認為當時 2 至 3 月間室外之月平均溫度雖在 17°～21℃，但除寒流來襲外，2 月至 3 月上旬間及 3 月中至下旬間每日上午 11 時至下午 5 時間之平均溫度仍達 20°～23℃及 25℃以上；而釉小蜂日產卵、取食寄主盛期在上午 9 時至下午 1 時間(錢景秦等，1991b; Chu and Chien, 1991)；及該蜂在 15℃時雖不甚活動，但移至 25℃時卻即刻恢復正常之活動。因此在霧峰地區，早春時雖平均氣溫為 17°～21℃，但釉小蜂仍可乘白天氣溫回升時，發揮其對木蝨之高致死能力。同時早春時木蝨之發育亦較慢，因而顯示釉小蜂對木蝨之高度寄生率。

五、釉小蜂貯存之適當蟲期與條件

進行害蟲生物防治時，為配合害蟲之發生，常需貯存天敵以備適時釋放，如此天敵之貯存蟲期與條件即為害蟲生物防治成敗的關鍵之一。至於寄生蜂之貯存溫度究以定溫或變溫較為適宜，則依蟲種而定(Ratte, 1984)。由本試驗之結果得知，釉小蜂之卵(表一)、老熟幼蟲或前蛹(表八)均不耐冷藏，而成蟲則對低溫之忍受性較大，在 8°～30℃、無寄主供應、僅餵食蜂蜜時，雌、雄蜂壽命與溫度間呈負相關(圖三)。因而就

釉小蜂貯存之蟲期而言，筆者等認爲以成蜂期爲適。又若考慮釉小蜂成蜂貯存後之生殖力及子代之存活率與性比時，其最適之溫度與期限，爲在 25℃下貯存 10～20 天（錢景秦，1992）。

誌　　謝

本文爲第一作者博士論文之一部分。本試驗由行政院農業委員會補助部分經費［79 農建-7.1-糧-51(I)5、80 農建-7.1-糧-114(5)］，謹此誌謝。

參考文獻

錢景秦。1992。柑橘木蝨外寄生蜂－亮腹釉小蜂之生活習性與族群生態。國立臺灣大學植物病蟲害學研究所博士論文。138 pp。台北。

錢景秦、朱耀沂、古琇芷。1991a。柑橘木蝨之生物防治 II. 亮腹釉小蜂與紅腹跳小蜂對柑橘木蝨之防治效果評估。中華昆蟲 11: 25–38。

錢景秦、朱耀沂、古琇芷。1991b。亮腹釉小蜂(*Tamarixia radiata*)之形態、生活史及其寄生策略。中華昆蟲 11: 264–281。

錢景秦、邱瑞珍、古琇芷。1988。柑橘木蝨之生物防治 I. 亮腹釉小蜂(*Tamarixia radiata*)之引進繁殖與釋放試驗。中華農業研究 37: 430–439。

Aubert, B. 1989. Report on citriculture in Thailand, Feb. 16th–23rd 1989. (cited by Tang, Y. Q., 1990)

Aubert, B. 1990. Integrated activities for the control of huanglungbin-greening and its vector *Diaphorina citri* Kuwayama. pp. 133–134 *in* B. Aubert, S. Tontyaporn, and D. Buangsuwon, eds. Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. Asia Pacific Intern. Conf. Citriculture. Chiang Mai.

Aubert, B., and S. Quilici. 1984. Biological control of the African and Asian citrus psyllids (Homoptera: Psylloidea), through eulophid and encyrtid parasites (Hymenoptera: Chalcidoidea) in Reunion Island. pp. 100–108 *in* S. M. Garnsey, L. W. Timmer, and J. A. Dodds, eds. Proc. 9th Conf. Intern. Organization Citrus Virol. Riverside, CA.

Birch, L. C. 1948. The intrinsic rate of natural increase of an insect population. J. Anim. Ecol. 17: 15–26.

Campbell, A., B. D. Frazer, N. Gilbert, A. P. Gutierrez, and M. Mackauer. 1974. Temperature requirements of some aphids and their parasites. J. Appl. Ecol. 11: 431–438.

Chien, C. C., S. C. Chiu, and S. C. Ku. 1989. Biological control of *Diaphorina citri* in Taiwan. Fruits 44: 401–407.

Chu, Y. I., and C. C. Chien. 1991. Utilization of natural enemies to control of psyllid vectors transmitting citrus greening. pp. 135–145 *in* K. Kiritani, H. J. Su, and Y. I. Chu, eds. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region Supplement No. 1. Taipei.

Etienne, J., and B. Aubert. 1980. Biological control of psyllid vectors of

greening disease on Reunion Island. pp. 118–121 *in* E. C. Calavan, S. M. Garnsey, and L. W. Timmer, eds. Proc. 8th Conf. Intern. Organization Citrus Virol. Riverside, CA.

Gavarra, M. R., and B. G. Mercado. 1989. Progress report on studies dealing with the psyllid vector (*Diaphorina citri*) of greening disease in the Philippines. pp. 23–28 *in* B. Aubert, C. Ke, and C. I. Gonzales, eds. Proc. 2nd FAO-UNDP Regional Workshop Lipa Philippines Asian / Pacific Citrus Greening. Lipa.

Gavarra, M. R., B. G. Mercado, and C. I. Gonzales. 1990. Progress report: *Diaphorina citri* trapping, indentification of parasite and possible field establishment of the imported parasite, *Tamarixia radiata* in the Philippines. pp. 246–250 *in* B. Aubert, S. Tontyaporn, and D. Buangsuwon, eds. Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. Asia Pacific Intern. Conf. Citriculture. Chiang Mai.

Ke, C. 1991. The present status of citrus huanglungbin and its control in China. pp. 10–14 *in* C. Ke, and S. B. Osman, eds. Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integrated Citrus Health Management. Kuala Lumpur.

Kiritani, K. 1991. Potential impacts of global warming on insect. Insectarium 28: 4–15.(in Japanese)

Lama, T. K., C. Regmi, and B. Aubert. 1988. Distribution of the citrus greening disease vector (*Diaphorina citri* Kuw.) in Nepal and attempts to establish biological control. pp. 255–257 *in* L. W. Timmer, S. M. Garnsey, and C. Navarro, eds. Proc. 10th Conf. Intern. Organization Citrus Virol. Riverside, CA.

Mercado, B. G., F. Pableo, M. R. Gavarra, and C. I. Gonzales. 1991. Population studies and biological control of *Diaphorina citri* Kuwayama–the insect vector of citrus greening disease in the Philippines. pp. 105–117 *in* C. Ke, and S. B. Osman, eds. Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integreted Citrus Health Management. Kuala Lumpur.

Mohd. Shamsudin, O., and S. Quilici. 1991. Trapping studies of citrus greening vector, *Diaphorina citri* Kuwayama, natural emenies and alternate hosts in Malaysia. pp. 118–127 *in* C. Ke, and S. B. Osman, eds. Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integrated Citrus Health Management. Kuala Lumpur.

Nurhadi. 1989. Integrated approaches to formulate control measure against greening vector, *Diaphorina citri* Kuw. in Indonesia. pp. 47–49 *in* B. Aubert, C. Ke, and C. I. Gonzales, eds. Proc. 2nd FAO-UNDP Regional Workshop Lipa Philippines Asian / Pacific Citrus Greening. Lipa.

Quilici, S., and X. Fauvergue. 1990. Studies on the biology of *Tamarixia radiata* (Waterston) (Hym.: Eu-

lophidae). pp. 251–256 *in* B. Aubert, S. Tontyaporn, and D. Buangsuwon, eds. Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. Asia Pacific Intern. Conf. Citriculture. Chiang Mai.

Ratte, H. T. 1984. Temperature and insect development. pp. 33–66 *in* K. H. Horffmann, ed. Environmental physiology and biochemistry of insects. Springer Verlag, Berlin.

Tang, Y. Q. 1989. A preliminary survey on the parasite complex of *Diaphorina citri* Kuwayama in Fujian. pp. 10–15 *in* B. Aubert, C. Ke, and C. I. Gonzales, eds. Proc. 2nd FAO-UNDP Regional Workshop Lipa Philippines Asian / Pacific Citrus Greening. Lipa.

Tang, Y. Q. 1990. On the parasite complex of *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae) in Asian-Pacific and other areas. pp. 240–245 *in* B. Aubert, S. Tontyaporn, and D. Buangsuwon, eds. Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. Asia Pacific Intern. Conf. Citriculture. Chiang Mai.

Tang, Y. Q., and B. Aubert. 1990. An illustrated guide to the identification of parasitic wasps associated with *Diaphorina citri* Kuwayama in the Asian-Pacific region. pp. 228–239 *in* B. Aubert, S. Tontyaporn, and D. Buangsuwon, eds. Rehabilitation of citrus industry in the Asia Pacific Region. Proc. Asia Pacific Intern. Conf. Citriculture. Chiang Mai.

Tang, Y. Q., and Z. P. Huang. 1991. Studies on the biology of two primary parasites of *Diaphorina citri* Kuwayama (Homoptera: Psyllidae). pp. 91–98 *in* C. Ke, and S. B. Osman , eds. Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integrated Citrus Health Management. Kuala Lumpur.

Tang, Y. Q., and M. X. Wu. 1991. Interspecific host discrimination between two primary parasites of Asian citrus psyllid *Diaphorina citri* Kuwayama. pp. 99–104 *in* C. Ke, and S. B. Osman, eds. Proc. 6th Intern. Asia Pacific Workshop Integrated Citrus Health Management. Kuala Lumpur.

收件日期：1992 年 11 月 4 日
接受日期：1993 年 4 月 9 日